

## Araştırma Makalesi / Research Article

## Mikronize Kalsit ve Uçucu Kül Katkısının Beton Özelliklerine Etkisinin Araştırılması

Kubilay AKÇAÖZOĞLU<sup>1\*</sup>, Şükrü Emre GÜLDÜR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Niğde.

<sup>2</sup> Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Niğde.

e-posta: ozoglu@ohu.edu.tr

Geliş Tarihi: 16.05.2016 ; Kabul Tarihi: 11.08.2017

### Özet

**Anahtar kelimeler**  
Mikronize kalsit; Uçucu kül; Donma-çözülme; Aşınma; klor iyon geçirgenliği; Basınç altında su işleme derinliği.

Bu çalışmada, Niğde bölgesinden temin edilen mikrokalsitin ve Yumurtalık Sugözü Termik Santralinden elde edilen uçucu külün beton özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Karışımlarda, bağlayıcı miktarı ile su/bağlayıcı oranı sabit tutulmuştur. Mikronize kalsit ve uçucu kül hem ayrı ayrı, hem de birlikte çimento ile %10 ve %20 oranlarında ikame edilerek toplam 7 karışım hazırlanmıştır. Karışımlar üzerinde taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. Mikrokalsitin, taze beton özellikleri üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Mikrokalsit katkılı betonların erken yaşlardaki basınç dayanımları, şahit ve uçucu kül katkılı betonlara oranla daha yüksek çıkmıştır. Ancak, ileri yaşlarda mikrokalsit katkılı betonların basınç dayanımı, aşınma ve geçirgenlik dirençlerinin daha düşük olduğu görülmüştür.

## The Investigation of the Effect of Micronized Calcite and Fly Ash Addition on the Concrete Properties

### Abstract

**Keywords**  
Microcalcite; Fly ash; Freeze-thaw; Abrasion; Chloride ion permeability; Depth of penetration of water under pressure

In this study, the effect of microcalcite obtained from Nigde region and fly ash obtained from Yumurtalık Sugözü Thermal Power Plant on the concrete properties were investigated. The amount of binder and the w/b ratio were kept constant in the mixtures. Calcite and fly ash were substituted 10% and 20% of cement both separately and together and prepared 7 mixtures. The fresh and hardened concrete tests were carried out on the mixtures. No remarkable effect on the properties of fresh concrete was observed. The compressive strength in the early days of the microcalcite added concrete was higher than control concrete and fly ash added concrete. However, in the following periods the compressive strength, abrasion and permeability resistance of microcalcite concrete were lower.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Günümüzde yaygınlaşan yüksek performanslı beton üretiminde puzolanik malzeme kullanımı oldukça artmıştır. Beton üretiminde kullanılan puzolanların çoğu endüstriyel atık malzemeler veya yan ürünlerdir (Erdoğan, 2003).

Uçucu kül, silisli ve alüminli amorf yapıya sahip ve çok ince taneli olarak elde edilen ve puzolanik özellik gösteren mineral katkılardan birisi olarak yaklaşık 50 yıldır dünyada kullanılmaktadır

(Sahmaran ve Li, 2009). Uçucu külün betona ilave edilmesi birçok yararları da beraberinde getirmektedir. Uçucu küller, betonun porozitesini azaltmakta, mikro agrega etkisi yaparak tane dağılımını düzenlemekte ve optimum sıkışmayı sağlamaktadır. Böylelikle betonun dış etkilere karşı dayanıklılığı artmaktadır. Ayrıca, küresel ve düzgün yüzeyli yapısı nedeniyle taze betonun işlenebilirliğini de artırmaktadır (Ünal, 2004).

Kalsit, %95-97 oranında  $\text{CaCO}_3$  (kalsiyum karbonat) içeren bir mineraldir ve karbonatlı kayaların ana mineralidir (Matschei vd., 2007). Kristal halde camı parlaklıkta, renksiz saydam yapıdadır. İnce halde iken boya, kâğıt, dolgu, gübre, plastik, vb. birçok sektörde beyazlık, aşındırıcılık ve aşınmaya karşı direnç kazandırma özellikleri nedeniyle kullanılan bir dolgu maddesidir (Akın, 2009). Kalsitin betonun dayanım kazanma hızına etkisi vardır. C-S-H oluşumuna uygun çekirdek oluşturarak hidrasyon reaksiyonlarını hızlandırmakta ve  $\text{C}_3\text{A}$ 'sı yüksek çimentolarla reaksiyona girip bağlayıcı özelliği olan karboalüminat oluşturmaktadır. (Matschei vd., 2007).

Literatürde, mermer tozu ve taş unu gibi kalsit içerikli mineral katkıların beton üretiminde kullanımı ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, bu tarz ince malzemelerin %10-15 oranlarında ilavesinin betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerini iyileştirme potansiyelinin bulunduğu bahsedilmektedir (Tanyıldızı ve Çoşkun, 2011; Aruntaş vd., 2007; Ünal ve Kibici, 2001; Erdem ve Öztürk, 2012).

Akkaya ve Kesler (2012) mikronize kalsitin beton içinde mineral katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği ile ilgili olarak bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmaya göre, mikronize kalsit kullanımı taze betonun yayılma değerlerini olumsuz etkilemiş, sertleşmiş betonda ise erken yaşlarda yüksek dayanım değerlerine ulaşmasına neden olmuştur. Ayrıca kalsitli betonların kalıcılık özelliklerinin de uçucu küllü ve silis dumanlı betonlara göre daha zayıf olduğunu görülmüştür.

Mikronize kalsitin beton içinde mineral katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği ile ilgili olarak yeterli sayıda çalışma bulunmadığından, bu çalışmada, Niğde Bölgesinde yoğun olarak bulunan mikronize kalsitin beton içinde mineral katkı maddesi olarak ve puzolanik bir malzeme olan Uçucu kül ile birlikte kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla laboratuvar deneyleri yürütülmüştür.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kullanılan malzeme özellikleri

Bu çalışmada, TS EN 197–1 (2012) ile uyumlu CEM II/ A-M (P-L) 42.5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun özgül ağırlığı  $3.12 \text{ gr/cm}^3$  ve Blaine Özgül Yüzeyi  $3495 \text{ cm}^2/\text{gr}$ 'dir. Çalışmada, Yumurtalık Sugözü Termik Santralinden temin edilen uçucu kül kullanılmıştır. Kullanılan uçucu külün özgül ağırlığı  $2,39 \text{ gr/cm}^3$  olup özgül yüzeyi  $4052 \text{ cm}^2/\text{gr}$ 'dir. Ayrıca uçucu külün 7 ve 28 günlük puzolanik aktivite indeksi sırasıyla %69 ve %75'tir. Çimento ve uçucu küle ait kimyasal özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Çalışma kapsamında ayrıca, Niğde ilinde faaliyet gösteren NİĞTAŞ Mikronize Kalsit San. Tic. Ltd. Şti.'den temin edilen özgül ağırlığı  $2.60 \text{ gr/cm}^3$  ve özgül yüzeyi  $2430 \text{ cm}^2/\text{gr}$  olan kalsit kullanılmıştır.

Deneyisel çalışmada, 0-5, 5-12 ve 12-22 mm boyutlarında kırma bazalt agrega ve 0-1 mm boyutunda doğal agrega kullanılmıştır. Agreganın su emme kapasitesi ve özgül ağırlığı TS EN 1097–6'ya (2002) göre tespit edilmiş olup Tablo 2'de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Kullanılan çimento ve uçucu külün kimyasal özellikleri

Oksit (%)	Çimento	Uçucu Kül
$\text{SiO}_2$	20.33	56.14
$\text{Al}_2\text{O}_3$	5.35	26.05
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	3.15	6.91
CaO	62.11	3.32
MgO	1.50	1.33
Cl	0.02	-
$\text{SO}_3$	3.30	-
$\text{Na}_2\text{O}$	0.65	1.38
$\text{K}_2\text{O}$	0.95	2.9
K.K	2.51	1.69

**Tablo 2.** Deneyisel çalışmada kullanılan agregaların fiziksel özellikleri

Fiziksel özellik	Agrega boyutu (mm)			
	0-1	0-5	5-12	12-22
Özgül ağırlık (DYK)	2.52	2.53	2.69	2.71
Su emme (%)	2.20	3.60	1.70	1.40
Toplam nem (%)	1.95	2.10	0.60	0.30

Deneysel çalışmada kullanılan agregalar TS 802'de (2009) agrega en büyük dane büyüklüğü 16.0 mm olan beton için belirtilen agrega dane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınırlar içerisinde kalacak şekilde ağırlıkça 0-1 doğal kumdan % 21, 0-5 kırma kumdan % 27, 5-12 iri agregadan % 25 ve 12-22 iri agregadan % 27 oranlarında karıştırılmıştır. Karışımın elek analizi sonuçları Tablo 3'te, verilmiştir.

Karışımlarda işlenebilirliği sağlamak amacıyla TS EN 934-2'ye (2005) uygun süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Kullanılan süper akışkanlaştırıcı ligno sülfanat esaslı olup yüksek oranda su azaltan, yoğunluğu  $1.185 \pm 0.01$  kg/litre arasında değişkenlik gösteren, kahve renkli bir katkıdır.

Deneysel çalışmada kullanılan karışım ve bakım suyu Niğde Merkez İlçesinde açılmış sondaj kuyusuna aittir. TS-1008 (2003) standardına göre analizi yaptırılan suyun parametreleri beton karma suyu limitlerine uygundur.

**Tablo 3.** Kullanılan agreganın granülometrisi

Elek Açıklığı (mm)	Elekten Geçen (%)			Kullanılan Agregada
	TS 706 EN 12620 + A1			
	Alt Limit	Orta Limit	Üst Limit	
31.5	100	100	100	100
22.4	98	99	100	98.12
16	85	92	99	87.75
11.2	68	79	90	72.45
8	48	63	77	57.17
4	33	49	64	44.35
2	22	37	52	36.05
1	15	28	41	30.78
0.5	10	20	30	25.73
0.25	6	13	20	11.97
0.125	3	7	11	5.05
0.63	1	3	5	2.58

## 2.2. Beton karışım oranları

Beton karışım hesabı TS 802'de (2009) belirtilen mutlak hacim metoduna göre yapılmıştır. Karışımlarda kullanılan su-bağlayıcı (s/b) oranı 0.63'tür. Bağlayıcı olarak çimentodan başka uçucu kül ve mikro kalsit katkısı kullanılmış olup, uçucu kül ve mikro kalsit katkısının şahit betonda bulunan çimento ile ağırlıkça %5, %10, ve %20 oranlarında

yer değiştirilmesiyle toplam 7 farklı karışım hazırlanmıştır. Karışımlar, su-bağlayıcı (s/b) oranı ve kimyasal katkı miktarı bağlayıcının ağırlıkça %1'sabit tutularak hazırlanmıştır. Bir metreküp beton numune içinde bulunan malzeme miktarları Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4.** Bir metreküp betonu oluşturan malzeme miktarları (kg)

Karışım Kodu	Çimento	UÇ	KA	Su	Agrega
Şahit	300	0	0	190	1806
10U	270	30	0	190	1799
10K	270	0	30	190	1801
5U5K	270	15	15	190	1800
20U	240	60	0	190	1791
20K	240	0	60	190	1797
10U10K	240	30	30	190	1794

## 2.3. Numuneler üzerinde yürütülen deneysel çalışmalar

Taze beton üzerinde, TS EN 12350-2 (2010)'e uygun şekilde çökme, TS EN 12350-5 (2010)'e uygun şekilde yayılma tablası ve TS EN 12350-7 (2010)'e uygun şekilde hava muhtevası tayini deneyleri yapılmıştır.

Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde ise basınç dayanımı, ultrases geçiş hızının belirlenmesi, Çabuk donma ve çözülme koşulları altında betonda dayanıklılık tayini, Aşınma dayanımının tayini, Basınç altında su işleme derinliğinin tayini ve Beton için hızlandırılmış klor iyon geçirgenliği tayini deneyleri yapılmıştır.

Numunelerin basınç dayanımının tayininde, 10x10x10 cm boyutlu beton numuneler, TS EN 12390-3'e (2010) uygun olarak 1., 3., 7., 28., 90., 180. günlerde tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmuştur. Her bir beton yaşı için 3 numune kırılmış ve basınç dayanımı değerlerinin ortalaması alınmıştır. Deneyler, 3000 kN kapasiteli basınç aletinde 0.6 MPa/sn yükleme hızı ile gerçekleştirilmiştir.

Ultrases geçiş hızının belirlenmesinde, ASTM C 597 (2009)'ye uygun 0,1  $\mu$ s duyarlıklı ultrases aleti ile t,

$\mu$ s ses geçiş süreleri ölçülmüştür. Ses geçiş sürelerinin ölçülmesinde numune yüzeyindeki pürüzlerin oluşturduğu boşlukları doldurmak amacı ile numunelerin alt ve üst yüzeylerine ultrason jeli sürülmüş 55 kHz'lik ses dalgaları gönderen ve alan iki güç çevirici numunenin düzgün yüzeylerine yerleştirilmiş, direkt iletim yöntemi uygulanarak ses geçiş süresi ( $t$ ,  $\mu$ s) okunmuştur. Problar yer değiştirilerek ikinci okuma alınmış, her numune için bu iki okumanın ortalaması alınıp  $V_s = L/t$  yararlanarak ses geçiş hızı ( $V_s$ , km/saat) hesaplanmıştır.

28 gün standart kür edilen beton numuneler üzerinde çabuk donma ve çözülme deneyi gerçekleştirilmiştir. Donma çözülme deneyinde, TS 3449 (2005)'da belirtilen esaslara uyulmuş ve havada donma, suda çözülme metodu uygulanmıştır. Donma çözülme çevrimi 150 kez tekrarlanmıştır. Donma-çözülme deneyine başlamadan numunelerin ağırlıkları ve ultrasonik hız değerleri tespit edilmiş 50., 100. ve 150. çevrimlerden sonra ağırlık ve ultrosolik hız değerleri tekrar ölçülmüştür. 150. çevrim sonunda ise numunelerin basınç dayanımları saptanmıştır. Deneyler her bir beton karışımı için 3 numune üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Beton numunelerinin aşınma direncinin belirlenmesinde Böhme yüzey aşınma yöntemi kullanılmıştır. Böhme aşınma deneyi, TS 2824 EN 1338 (2005), standardına uygun şekilde 71x71x71 mm ebatlarında küp numuneler üzerinde 28. ve 90. günlerde yapılmıştır. Böhme yüzey aşınma deneyi her bir beton yaşı için 3 adet numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Numuneler deney zamanına kadar  $20 \pm 2$  °C kür havuzunda korunmuştur. Beton küp numunelerin deney sonrasındaki aşınma miktarını belirlemek amacıyla deney öncesi ve sonrasında ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Aşınma değerleri ağırlıkça bulunmuştur.

Basıncı su geçirimsizlik deneyi TS EN 12390-8 (2010)'e uygun olarak yapılmıştır. Basıncı su, 150 x 150 x 150 mm ebatlarındaki 28 ve 90 günlük standart kür süresi tamamlanmış sertleşmiş beton yüzeyine uygulanmış, daha sonra numune, yarma

deneyine tabi tutularak, su işleme derinliği, alın kısmından ölçülmek suretiyle belirlenmiştir. Deney her bir beton yaşı için 3 adet numune üzerinde gerçekleştirilmiştir.

28 ve 90 günlük standart kür uygulanmış beton numuneler, 102 mm çapında, 51 mm uzunluğunda uçlarından kesilmiş ve ASTM C 1202 (2007)'e uygun şekilde hazırlanarak, hızlandırılmış klor iyon geçirgenliği tayini deneyine tabi tutulmuştur. Deney her bir beton yaşı için 3 adet numune üzerinde gerçekleştirilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Taze beton deneyleri

Betonun kıvamı ve işlenebilirliği, en az betonun mekanik özellikleri kadar önem taşımaktadır. Çok iyi tasarlanmış betonlar dahi işlenebilirlik göz önünde bulundurularak dizayn edilmemiş ise, kalıba yerleştirilme esnasında ciddi problemler doğmakta ve çoğu zaman sık donatıların arasından geçemediğinden, büyük boşlukların oluşmasına sebep olmaktadır (Koç, 2012). Beton içerisindeki hava miktarı beton mukavemetini doğrudan etkileyen bir durumdur. Hava miktarı ne kadar fazla olursa beton mukavemeti ters orantılı olarak düşmektedir.

Yürütülen bu çalışma kapsamında, karışımların çökme ve yayılma deney aleti kullanarak kıvamları ölçülmüş, ayrıca üretilen taze betonlara ait hava miktarları ölçülerek kaydedilmiştir. Karışımlara ait çökme, yayılma ve hava muhtevası değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 5.** Karışımlara ait çökme, yayılma ve hava muhtevası değerleri

Karışım	Çökme (cm)	Yayılma (cm)	Hava içeriği (%)
Şahit	18	55	1.8
10U	16	53	1.6
10K	18	55	1.6
5U5K	18	56	1.7
20U	16	53	1.5
20K	17	55	1.5
10U10K	18	56	1.5

Tablo 5 incelendiğinde, tüm karışımlarda çökme değerinin 16 ile 18 cm arasında, yayılma değerlerinin ise 53 ile 56 cm arasında değiştiği ve mineral katkıların betonun çökme değerleri üzerinde fazla bir etkisi olmadığı görülmüştür. Akkaya ve Kesler, (2012) yaptıkları çalışmada benzer bir durumdan bahsetmişlerdir. Yayılma tablası deney sonuçları ile çökme deneyi sonuçlarının birbirlerine benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Tablo 5'te karışımların hava muhtevasının % 1,5 ile %1,8 arasında değiştiği görülmektedir. Çökme ve yayılma tablası deney sonuçlarına benzer olarak mineral katkıların betonun hava muhtevasına da çok fazla etki göstermemiştir.

### 3.2. Basınç dayanımı

Deneysel çalışma kapsamında üretilen 7 farklı karışıma ait 1, 3, 7, 28, 90 ve 180 günlük küp numunelere ait basınç dayanımı değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Şekil 1 ve Şekil 2'de ise sırasıyla %10 ve %20 ikame oranları için basınç dayanımı grafikleri verilmiştir.

Tablo 6 incelendiğinde numunelerin basınç dayanımlarının zamana bağlı olarak arttığı

görülmektedir. 28 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde en yüksek basınç dayanımının Şahit numuneye ait olduğu görülmektedir. Ancak ilerleyen yaşlarda uçucu kül puzolanik etkisini göstermiş ve 10U karışımı 180. günde diğer karışımlara kıyasla en yüksek basınç dayanımı değerine ulaşmıştır. Karışımlarda CEM II türü çimentonun kullanılmasının, %20 uçucu kül ikamesine sahip 20U karışımının basınç dayanımı değerinin Şahit numunenin basınç dayanımı değerinden daha düşük olmasına sebep olduğu düşünülmektedir. kalsit katkısının beton dayanımına ilk günlerde olumlu etkisinin olduğu görülmüş, 1. günde kalsit katkılı betonlar en yüksek dayanımı göstermiştir. Bu durum literatür ile uyumludur (Akkaya ve Kesler, 2012). İlerleyen yaşlarda kalsitin dayanıma katkısı azalmış 28. güne kadar uçucu kül katkılı karışımların basınç mukavemet değerleri ile benzerlik göstermiştir. Ancak 90. ve 180. günlerde dayanım değerleri Uçucu Kül katkılı karışımların dayanım değerlerinden daha düşük olmuştur. Bunun sebebinin, Kalsitin puzolanik özelliğinin olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Aydın ve Yıldırım, 2012).

**Tablo 6.** Karışımlara ait betonların basınç dayanımları (MPa)

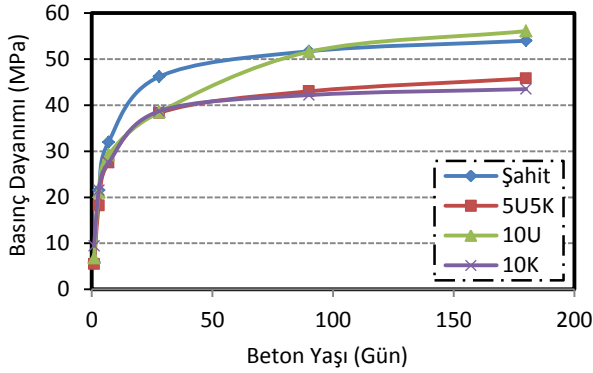
Karışım	1.Gün	3.Gün	7.Gün	28.Gün	90.Gün	180.Gün
Şahit	5.9	21.5	32.0	46.2	51.7	54.0
10U	6.8	21.1	29.2	38.5	51.6	56.1
10K	9.4	21.5	27.5	38.7	42.2	43.5
5U5K	5.5	18.2	27.5	38.3	43.0	45.8
20U	9.0	18.8	22.2	35.2	42.2	47.7
20K	9.6	19.2	23.9	34.6	37.5	42.0
10U10K	9.7	19.1	23.3	34.7	46.2	52.2

Şekil 1'de Şahit karışım ve toplam %10 ikame edilmiş karışımların basınç dayanımları sunulmuştur. Şekil 1 incelendiğinde 28. Günde en yüksek basınç dayanımı değerinin 46.2 MPa olarak Şahit karışıma ait olduğu görülmektedir. 10U, 10K ve 5U5K karışımlarına ait basınç dayanımı değerleri sırasıyla 38.5, 38.7 ve 38.3 MPa olup, değerler hemen hemen aynıdır. 90. günden itibaren 10U karışımının basınç mukavemeti artmaya başlamış ve 180. günde diğer karışımlardan daha yüksek bir değere ulaşmıştır. 180. günde en düşük dayanım

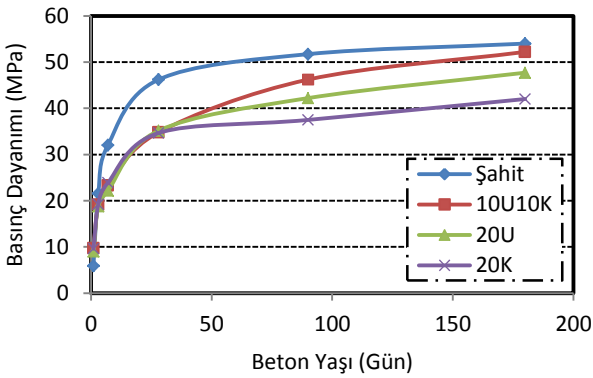
10K karışımında görülmüştür. 5U5K karışımı ise Uçucu Külün etkisi ile 10K karışımının dayanım değerinden biraz daha yüksek olmuştur.

Şekil 2'de Şahit karışım ve toplam %20 ikame edilmiş karışımların basınç dayanımları sunulmuştur. Şekil 2 incelendiğinde 28. Günde en yüksek basınç dayanımı değerinin 46.2 MPa olarak Şahit karışıma ait olduğu görülmektedir. 20U, 20K ve 10U10K karışımlarına ait basınç dayanımı değerleri sırasıyla 35.2, 34.6 ve 34.8 MPa olup, değerler hemen hemen aynıdır. İlerleyen yaşlarda

toplam %20 ikame miktarına sahip karışımların hiçbiri Şahit karışımının basınç dayanımı değerini geçememiştir. Ancak 10U10K karışımı 180. günde Şahit karışımının basınç dayanımı değerine oldukça yaklaşmıştır. Toplam %10 ikame miktarına sahip karışımlara benzer şekilde en düşük dayanım yine tamamen Kalsit katkılı karışımda gözlenmiştir.



Şekil 1. Toplam %10 ikameli karışımlara ait betonların basınç dayanımı



Şekil 2. Toplam %20 ikameli karışımlara ait betonların basınç dayanımı

### 3.3. Ultrases geçiş hızları

Bir malzemenin ultrases geçiş hızı o malzemenin boşluk yapısına, dolayısıyla yoğunluğuna ve elastik özelliklerine bağlıdır (Akçaözöğlü vd., 2013). Betonun kompasitesi ve yoğunluğu azaldıkça ultrases geçiş hızı değeri de azalmaktadır (Whitehurst, 1951; Zoldners, 1971). Çalışma kapsamında üretilen numunelerin ultrasonik ses hızları ölçülmüş ve Tablo 7'de verilmiştir. Tablo 7 incelendiğinde beton yaşına bağlı olarak numunelerin ultrases geçiş hızlarının beton basınç dayanımına benzer şekilde arttığı görülmektedir. Neville ve Brooks (1993) ile Jones ve Gatfield (1955) normal betonlarda, iyi kalitedeki bir betonun ultrases geçiş hızınının 4.1 - 4.7 km/sn arasında olması gerektiğini belirtmişlerdir. Çalışma kapsamında üretilen numunelerin ultrases geçiş hızları 28. günde 4.14 - 4.67 arasında değişmektedir. Tüm günler için ise 3.14 - 5.61 arasında değişmektedir. Numunelerin ultrases geçiş hızlarınının 1. günde dahi yüksek çıkmasınının sebebinin kullanılan çimentonun ince mineral katkı içermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 8'de normal betonlar için ultrasonik ses hızları ile beton kalitesi arasındaki ilişki verilmiştir. 28 günlük numunelerin ultrasonik ses hızı değerleri incelendiğinde, beton kalitesinin iyi ve çok iyi olduğu görülmektedir.

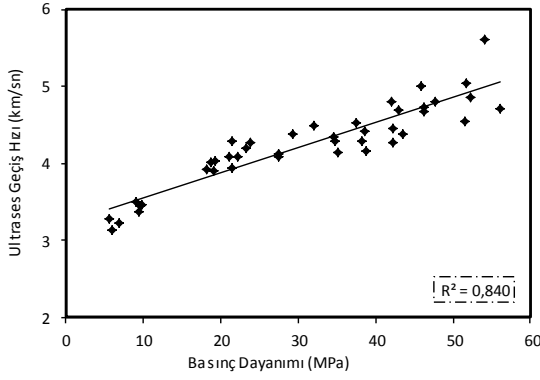
Tablo 7. Karışımlara ait ultrases geçiş hızları değerleri (km/sn)

Karışım	1.Gün	3.Gün	7.Gün	28.Gün	90.Gün	180.Gün
Şahit	3.14	4.29	4.48	4.67	5.05	5.61
10U	3.27	3.92	4.09	4.29	4.69	5.00
10K	3.22	4.09	4.38	4.42	4.54	4.71
5U5K	3.36	3.93	4.13	4.16	4.27	4.38
20U	3.46	3.90	4.20	4.29	4.73	4.85
20K	3.49	4.01	4.09	4.14	4.52	4.80
10U10K	3.44	4.03	4.27	4.34	4.46	4.80

Tablo 8. Ultrases geçiş hızlarınının pratik değerlendirilmesi (Güner ve Süme, 2000)

Hız (km/sn)	≥4.5	3.5-4.5	3.0-3.5	2.0-3.0	≤2.0
Beton Kalitesi	Çok İyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok Zayıf

Şekil 3'te basınç dayanımı ile ultrases geçiş hızları arasındaki ilişki verilmiştir. Basınç dayanımı ile ultrases geçiş hızı arasında kuvvetli bir ilişkinin olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Basınç dayanımı ultrases geçiş hızı ilişkisi

### 3.4. Betonun donma çözülme dayanımı

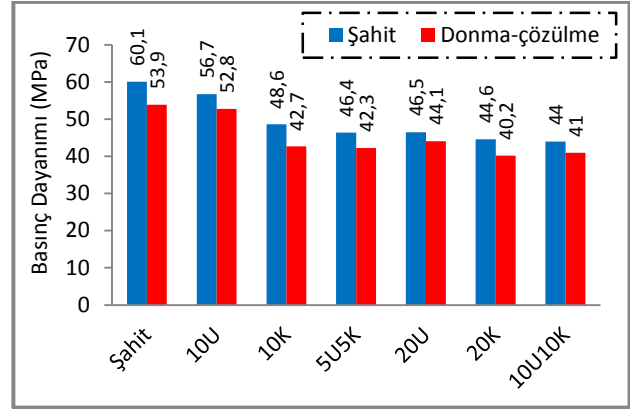
Donma çözülme olayı betonun basınç mukavemeti etkileyen önemli faktörlerden biridir. Betonun gözeneklerinde bulunan suyun donması, betonun mukavemetinin azalmasına ve hatta parçalanmasına yol açabilir. (Postacıoğlu, 1987). Su donduğunda hacminde %9 oranında bir artış meydana gelir (Neville, 1993). Donma - çözülme ile birlikte betonda çatlama, soyulma ve dökülmeler şeklinde hasar oluşmaya başlamaktadır (Şengül vd., 2003).

Şekil 4'te numunelere ait 150 donma çözülme çevrimi yapılmış ve donma çözülmeye maruz bırakılmamış beton numunelerin basınç dayanımı değerleri verilmiştir. Tüm karışımlara ait numunelerde donma çözülme sonucu mukavemet kaybının olduğu görülmüştür. En fazla mukavemet kaybı %12,1 kayıp ile 10K karışımında meydana gelirken en az kayıp ise %5,2 kayıp ile 20U karışımına ait beton numunesinde gözlenmiştir. 10K haricindeki diğer karışımlara ait beton numunelerinin basınç kaybı, Şahit karışımına ait beton numunesinin basınç kaybı yüzdesinden daha az olmuştur. Bu da göstermektedir ki; mineral katkıların betonun donma çözülme mukavemetine olumlu etkisi vardır. Bu durum literatürle uyumaktadır (Uysal, 2011).

### 3.5. Aşınma mukavemeti

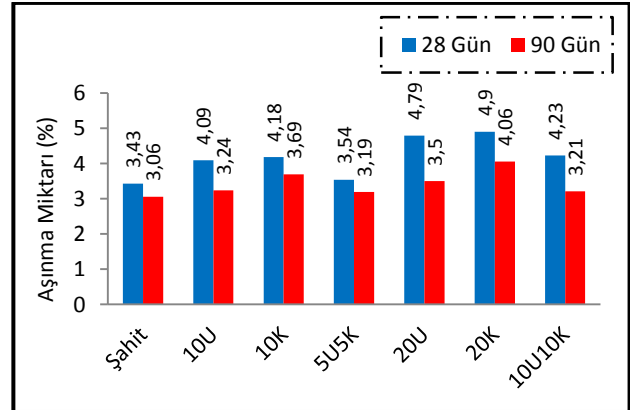
Betonlar kullanım yerlerine bağlı olarak önemli ölçüde aşınmaya maruz kalabilirler. Betonun aşınma direnci basınç dayanımı, agrega tipi ve

özellikleri, kür şartları ve yüzey düzgünlüğü gibi bir çok faktörden etkilenmektedir (Siddique vd., 2012)



Şekil 4. Karışımlara ait betonların donma çözülme değerleri

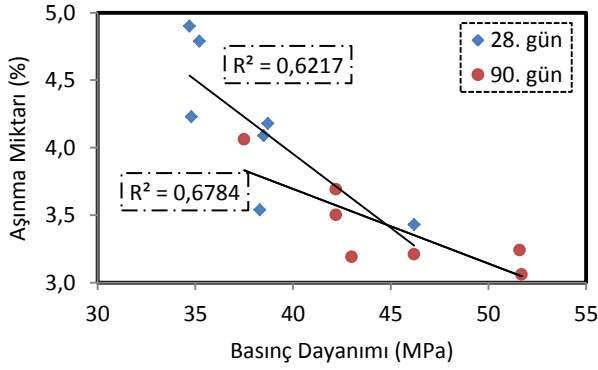
Yürütülen çalışma kapsamında hazırlanan numunelere ait yüzey aşınma değerleri, ağırlık kaybı esasına göre belirlenmiştir. Numunelere ait 28 ve 90 günlük Böhme yüzey aşınma miktarları Şekil 5'te sunulmuştur.



Şekil 5. Karışımlara ait aşınma miktarları

Şekil 5 incelendiğinde 90 günlük aşınma direncinin 28 günlük aşınma direncine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Betonun hidratasyonunun zamanla devam etmesi aşınma direncinin artmasına neden olmaktadır. 28 günlük numunelerde en az aşınma %3,43 ile Şahit karışımında, en fazla aşınma ise %4,9 ile 20K karışımında görülmüştür. 90 günlük numunelerde ise en az aşınma %3,06 ile Şahit karışımında, en fazla aşınma %4,06 ile 20K karışımında görülmüştür. Numunelerin aşınma mukavemetleri ile basınç mukavemetleri arasında benzerlikler vardır. Bu durum literatürle benzerlik göstermektedir (Larard ve Malier, 1991). Şekil 6'da

28 ve 90 günlük numunelerin, aşınma mukavemeti ile basınç mukavemeti arasındaki ilişki sunulmuştur. Elde edilen veriler ile 28 ve 90 günlük numunelerin aşınma mukavemeti ile basınç mukavemeti arasında korelasyon katsayıları sırasıyla 0,62 ve 0,68 olan doğrusal bir ilişki ortaya çıkmıştır.



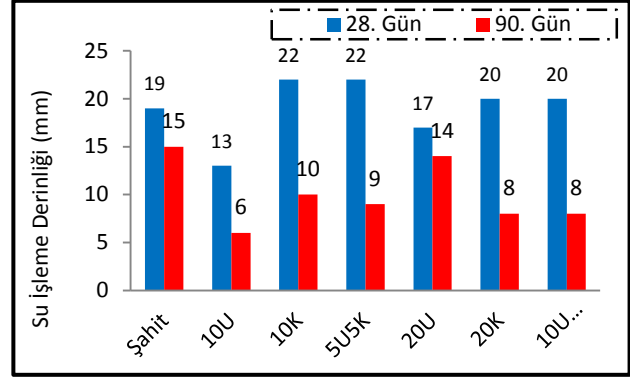
Şekil 6. 28 ve 90 günlük numunelerin basınç-aşınma dayanımı ilişkisi

### 3.6. Basınç altında su işleme derinliği

Betonarme yapıların kalıcılığını etkileyen kimyasal ve fiziksel işlemlerin hemen hepsinde ana faktör suyun beton bünyesindeki boşluklar ile çatlaklar içindeki taşınımıdır. Gazların, suyun ve zararlı maddelerin beton içine taşınımı ve bunların beton ile etkileşimi, bozulma sürecinin gelişimi açısından çok önemlidir (Baradan ve Aydın, 2013). Su, betonda olduğu kadar içindeki çelik üzerinde de büyük hasarlar oluşturmaktadır. Donatı ile bulunduğu noktalarda korozyonu başlatıp, statik ve dinamik tüm yükleri karşılayan ve aktaran yapı bölümlerinin zarar görmesine sebep olmaktadır (Şimşek ve Akıncıtürk, 2006).

Bu çalışmada, her karışımından 3 numune üzerinde 28. ve 90. günlerde basınç altında su işleme derinliği değeri tespit edilmiştir. Şekil 7'de karışımlara ait basınç altında su işleme derinlikleri verilmiştir. Numune yaşı arttıkça karışımlara ait beton numunelerin de zaman artışı ile doğru orantılı şekilde su işleme dayanıklılığı artmaktadır. 28.gündeki basınç altında su işleme derinlikleri incelendiğinde, 10U karışımına ait beton numunesinin 13 mm ile en düşük su işleme derinliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. 22 mm su

işleme derinliği ölçülen 10K karışımı ise en yüksek su işleme derinliğine sahip olmuştur. Uçucu kül katkısının, karışımlara ait 28. Günde basınç altında su işleme derinliğine olumlu bir etkisi gözlenmiştir. Şimşek ve Akıncıtürk'e (2006) göre puzolanik katkıların, betonun basınç altında su işleme değerine olumlu bir etkisi vardır.



Şekil 7. Basınç altında su işleme derinliği değerleri (mm)

90. gündeki basınç altında su işleme derinliği incelendiğinde, 10U karışımına ait beton numunesinin 6 mm ile en düşük su işleme derinliğine sahip olduğu gözlenmiştir. 15 mm su işleme derinliği ölçülen Şahit karışımı ise en yüksek su işleme derinliğine sahip olmuştur. Fakat Kalsit katkısının beton üzerindeki su işleme derinliğine etkisi 28. güne oranla 90. günde daha belirgin hale gelmiştir. Bu durum literatürle benzerlik göstermektedir (Sevim ve Okumuş, 2011).

### 3.7. Klor iyon geçirgenliği

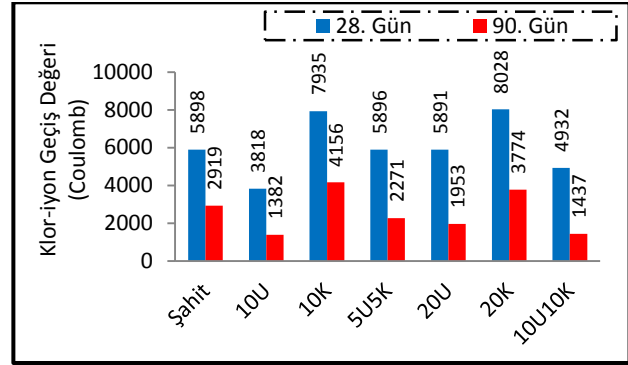
Klor iyonları donatı korozyonu açısından en zararlı madde olarak madde kabul edilir. Betonla temas halindeki deniz suyu veya tuzlu yer altı suları, buz çözücü tuzlar, tuz üreten veya işleyen sanayi tesisleri önemli birer klorür kaynağıdır. Tekrarlı ıslanma kuruma etkisine maruz deniz yapılarında deniz suyu ile beton içerisine sızan klorür iyonları, suyun buharlaşması sonucu beton içerisinde kalmakta, tekrar sayısı arttıkça klorür yoğunluğu da artmaktadır. Bu durumda deniz suyundaki iyon konsantrasyonundan daha fazla klor, beton içerisinde birikebilmektedir. Betonunun suya, gazlara ve iyonlara karşı geçirimsizlik özelliği en önemli koruma faktörüdür (Aydın ve Yıldırım, 2012).



Deneysel çalışma kapsamında üretilen beton numuneleri üzerinde 28. ve 90. günlerde hızlandırılmış klor iyon geçirgenliği tayini deneyi yapılmıştır. Deney sonuçları Şekil 8’de verilmiştir. Şekil 8’de görüldüğü gibi, beton yaşı arttıkça klor iyon geçirgenliği azalmaktadır. 28 günlük beton numunelerinin klor iyon geçirgenliği incelendiğinde, 3818 Coulomb değeri ile 10U karışımının klor iyon geçirgenliği direncinin en yüksek olduğu tespit edilmiştir. 8082 Coulomb değeri ile 20K karışımı ise en düşük klor iyon direncine sahip olmuştur. 28 günlük beton numunelerinin klor iyon geçirgenliği incelendiğinde, Uçucu kül katkısının, beton numunelerinin klor iyon geçirgenlik direncini arttırdığı görülmektedir. Thomas ve Matthews (2004) uçucu kül kullanılan betonlarda klor geçirimsizliğinin, portland çimentosu karışımlarından daha az olduğunu belirtmektedir. Yüksek oranda puzolan kullanımının betonun klor geçirimsizliğini büyük ölçüde azalttığı değişik araştırmacılar tarafından da belirtilmiştir (Şengül vd., 2003). Ancak Kalsit katkısının betonun klor iyon geçirgenliğine herhangi bir olumlu etkisi görülmektedir. Hatta %10 ve %20 Kalsit ilavesinde betonun klor iyon geçirgenliği oldukça artmıştır. Akın (2009)’a göre, Kalsit katkılı betonların daha geçirimli olduklarını ve bu sebeple klor iyon geçirgenliklerinin yüksek olacağını belirtmişlerdir.

90 günlük beton numunelerinin klor iyon geçirgenliği incelendiğinde ise, 1382 Coulomb değeri ile 10U karışımının klor iyon geçirgenliği direncinin en yüksek olduğu tespit edilmiştir. 4156 coulomb değeri ile ise 10K karışımının klor iyon geçirgenliği direncinin en düşük olduğu gözlenmiştir. Uçucu kül ve kalsitin 90. gündeki etkileri 28. gündekine benzer bir davranış sergilemiştir. Tablo 9’de tüm beton karışımlarına ait

iyon geçiş değerleri ile bu değerlere karşılık gelen ASTM C 1202 (2007) standardına göre geçirimsizlik sınıfları verilmiştir.



Şekil 8. Karışımlara ait klor-iyon değerleri (coulomb)

#### 4. Sonuç

Bu çalışma kapsamında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Kalsit katkısının beton dayanımına ilk günlerde olumlu etkisinin olduğu görülmüş, ilerleyen yaşlarda dayanıma katkısı azalmıştır.
- Mineral katkıların betonun donma çözülme mukavemetine olumlu etkisi görülmüştür.
- Uçucu kül katkısının, karışımlara ait 28. günde basınç altında su işleme derinliğine olumlu etkisi gözlenmiştir.
- Kalsit katkısının beton üzerindeki su işleme derinliğine etkisi 28. güne oranla 90. günde daha belirgin hale gelmiştir.
- 28 günlük beton numunelerinde, Uçucu kül katkısının klor iyon geçirgenlik direncini arttırdığı görülmüştür.
- Kalsit katkısının betonun klor iyon geçirgenliğine herhangi bir olumlu etkisi görülmemiştir.
- Kalsit katkısının tek başına beton içinde mineral katkı malzemesi olarak kullanılabilir olmadığı görülmüştür.

Tablo 9. Beton numunelerin hızlı klor-iyon geçişi değerleri

Karışım	Yük 28.gün	Geçirgenlik sınıfı	Yük 90.gün	Geçirgenlik sınıfı	ASTM C 1202 Geçirgenlik sınıfı
Şahit	5898	Yüksek	2919	Orta	
10U	3818	Orta	1382	Düşük	>4000 yüksek
10K	7935	Yüksek	4156	Yüksek	4000-2000 orta
5U5K	5896	Yüksek	2271	Orta	2000-1000 düşük
20U	5891	Yüksek	1953	Düşük	1000-10 çok düşük
20K	8028	Yüksek	3774	Orta	<100 ihmal edilebilir
10U10K	4932	Yüksek	1437	Düşük	

## Kaynaklar

- Akçaözöğlü, S., Akçaözöğlü, K. and Atış, C.D., 2013. Thermal conductivity, compressive strength and ultrasonic wave velocity of cementitious composite containing waste PET lightweight aggregate (WPLA)", *Composites: Part B*, 45(1), 721-726.
- Akın, M., 2009. Kalsit katkılı betonların geçirimsizlik ve dayanıklılık deneyleri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 122.
- Akkaya, Y. ve Kesler, Y.E., 2012. 'Mikrokalsit Katkısının Betonun İşlenebilirliğine, Mekanik Özelliklerine ve Dayanıklılığına Etkisi, *İMO Teknik Dergi* 384, 6051-6061.
- Aruntaş, H.Y., Dayı, M., Tekin, İ., Birgül, R. ve Şimşek, O., 2007. Kendiliğinden yerleşen beton özelliklerine atık mermer tozunun etkisi. 2. *Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, Ankara.
- ASTM C 597-09, 2009. Standard test method for pulse velocity through concrete, Annual Book of ASTM Standards, USA.
- ASTM C 1202, 2007. Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration, Annual Book of ASTM Standards, USA.
- Aydın, E.G and Yıldırım, H., 2012. The effect of mineral admixtures and micronized calcite on alkali silica reaction expansions in the usage of aggregates from different origin. *International Journal of Physical Sciences*, 7(45), 5996-6011.
- Baradan, B. ve Aydın, S., 2013. Betonun Dürabilitesi (Dayanıklılık, Kalıcılık). *Hazır Beton*, 54-68.
- Erdem, R.T. ve Öztürk, A. U., 2012. Mermer tozu katkısının çimento harcı donma-çözünme özellikleri üzerine etkisi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1(2), 85-91.
- Erdoğan, T.Y., 2003. Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş., Ankara.
- Güner, M.S. ve Süme, V., 2000. Yapı Malzemesi ve Beton, Aktif Yayınevi, İstanbul.
- Jones, R. and Gatfield, E.N., 1955. Testing concrete by an ultrasonic pulse technique, H.M. Stationery Office, London.
- Koç, M.E., 2012. Hava sürüklenmiş betonların donma-çözülme dayanımları ve görüntü işleme tekniği ile boşluk yapılarının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 106.
- Larard, F. and Malier, Y., 1991. Çok yüksek mukavemetli betonların mühendislik özellikleri. 2. *Ulusal Beton Kongresi Yüksek Dayanımlı Beton*, İstanbul.
- Matschei T., Lothenbach B. and Glasser F.P., 2007. The role calcium carbonate in cement hydration. *Cement and Concrete Research*, 37, 551-558.
- Neville, A.M. and Brooks, J.J., 1993. Concrete Technology, Longman Scientific and Technical, USA.
- Postacıoğlu, B., 1987. Beton, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- Sevim, U.K. ve Okumuş, N., 2011. Zeolit ve silika katkılı betonların mekanik ve geçirimsizlik özellikleri. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(2), 55-61.
- Siddique, R., Kapoor, K., Kadri, E and, Bennacer, R., 2012. Effect of polyester fibres on the compressive strength and abrasion resistance of HVFA concrete. *Construction and Building Materials*, 29, 270-278.
- Şimşek, Z. ve Akıncıtürk, N., 2006. Betonarme yapı elemanları üzerindeki basınçlı yeraltı su geçirimsizliğine puzzolan katkı maddelerinin etkisi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 11(2), 13-19.
- Şengül, Ö., Taşdemir, C., Kuruç, Ş. ve Sönmez R., 2003. Agregat türünün betonun donma - çözülme dayanıklılığına etkisi. 3. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul.
- Şengül, Ö., Taşdemir, M. A. ve Sönmez, R., 2003. Yüksek oranda uçucu kül içeren normal ve yüksek dayanımlı betonların klor geçirimsizliği. 5. *Ulusal Beton Kongresi Bildiriler Kitabı*, İstanbul.

- Tanyıldızı, H. ve Coşkun, A., 2011. Elazığ yöresi vişne mermer tozu katkılı hafif betonun basınç ve ultrasonik ses geçirgenliği özelliğinin araştırılması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(2), 150-154.
- Thomas, M.D.A. and Matthews, J.D., 2004. Performance of pfa concrete in a marine environment 10 years results. *Cement and Concrete Composites*, 26, 5–20.
- TS 802, 2009. Beton Karışım Hesapları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 197–1, 2012. Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 934–2, 2002. Kimyasal katkıları - Beton, harç ve şerbet için - Bölüm 2: Beton katkıları- Tarifler, özellikler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE EN 1008, 2003. Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097–6, 2002. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler – Bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 2824 EN 1338, 2005. Zemin döşemesi için beton kaplama blokları - Gerekli şartlar ve deney metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3449, 2005. Çabuk donma ve çözülme koşulları altında betonda dayanıklılık faktörü tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-2, 2010. Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-5, 2010. Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 5: Yayılma tablası deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-7, 2010. Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 7: Hava muhtevasının tayini - Basınç yöntemleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3, 2010. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabii tutulması, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-8, 2010. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 8: Basınç altında su işleme derinliğinin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2010.
- Uysal, M., 2011. Mineral katkılı betonların donma-çözülme etkisi altındaki davranışının incelenmesi. *THBB Kongresi*, İstanbul.
- Ünal, O. ve Kibici, Y., 2001. Mermer tozu atıklarının beton üretiminde kullanılmasının araştırılması. *Türkiye III. Mermer sempozyumu (mersem '2001)*, Afyon.
- Ünal, O., ve Uygunoğlu, T., 2004. Uçucu küllü betonların donma-çözülme karşı dayanıklılığının araştırılması. *İMO 17. Teknik Kongre*, İstanbul.
- Whitehurst, E.A., 1951. Soniscope tests concrete structures; Research and development laboratories of the portland cement association, *Journal of American Concrete Institute*, 47, 433-444.
- Zoldners, N.G., 1971. Thermal properties of concrete under sustained elevated temperatures. ACI publication SP-25, 8, 1-3.